

# SELF COMPENSATION TYPE HYDROSTATIC LINEAR MOTION BEARING

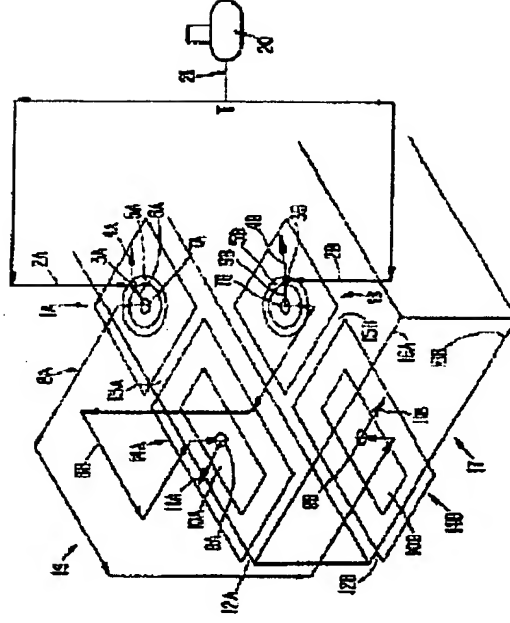
Publication number: JP6213235  
 Publication date: 1994-08-02  
 Inventor: AREKUSANDAA EICHI SUROOKAMU  
 Applicant: ADVANCED ENG SYST OPEREISHIYON  
 Classification:  
 - international: F16C32/06; F16C32/06; (IPC1-7): F16C32/06  
 - european:  
 Application number: JP19920022349 19920207  
 Priority number(s): JP19920022349 19920207

Report a data error here

## Abstract of JP6213235

**PURPOSE:** To allow all regions of a bearing to receive sufficient fluid even when the bearing is moving at high speed by providing pressurized annular passage type self-compensation units wherein the fluid is fed into holes located in the centers of the units and connected to bearing pockets on the side opposite to the bearing. **CONSTITUTION:** A fluid from a pressure source 20 enters into a bearing carriage via a feed hose 21 and is divided at a T junction to enter into self-compensation units 1A, 1B via lines 2A, 2B and holes 3A, 3B in annular grooves 5A, 5B. The fluid in the annular grooves 5A, 5B always wants to flow into low pressure regions and, after crossing compensation lands 6A, 6B, enters into central holes 7A, 7B, from which the fluid flows through passages 8A, 8B in the bearing carriage. The fluid from the passages 8A, 8B enters into central holes 9B, 9A from the bearing surfaces 14B, 14A. The fluid holds fluid pockets 10B, 10A pressurized and flows from the bearing surfaces over runners 11B,

11A. This arrangement enables self-compensation of load.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-213235

(43)公開日 平成6年(1994)8月2日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

F 1 6 C 32/06

識別記号

庁内整理番号

A 8613-3J

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数27 OL (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平4-22349

(22)出願日 平成4年(1992)2月7日

(71)出願人 592031341

アドヴァンスト・エンジニアリング・システムズ・オペレイションズ・アンド・プロダクツ、インコーポレイテッド  
アメリカ合衆国ニューハンプシャー州  
03301コンコード、メイプル・ストリート・1

(72)発明者 アレクサンダー・エイチ・スローカム  
アメリカ合衆国ニューハンプシャー州  
03301コンコード、ギャリン・ドライブ・26

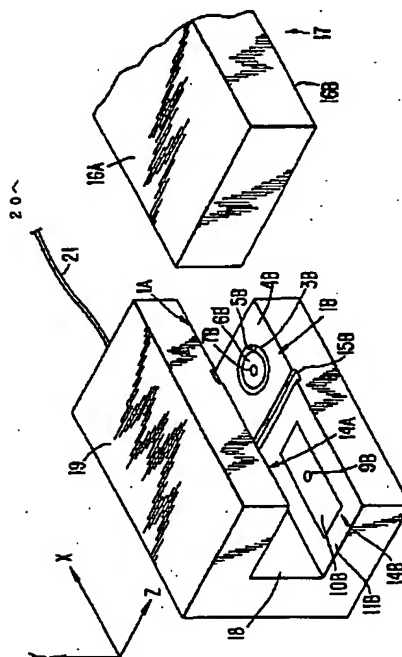
(74)代理人 弁理士 古谷 馨 (外3名)

(54)【発明の名称】 自己補償型静水圧線形運動軸受

(57)【要約】

【目的】新規な自己補償型線形静水圧軸受及びその方法を提供する。

【構成】好ましくは円形の環状加圧流体受容溝が対向するキャリッジ軸受面に設けられて、軸受面に対向して形成された縦方向リセスポケットに流体を供給するように規制されて、軸受レールと対向する軸受面との意図的ギャップに加圧流体の薄膜層を形成する。対向する軸受面のポケット内の差圧の確立を規制して、軸受の両側に加えられた負荷が補償される。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 対向するキャリッジ軸受面を有し、それに沿って及びその間に軸受レールを受容し、さらに、各軸受面がその面内に同様の対称的なポケットを備え、そのポケットから加圧流体がレールとキャリッジ面の間のギャップに流体の薄膜を生じるように発散される線形運動静水圧軸受における、軸受の両側の負荷の変化の自己補償のための方法であって、各軸受面上に、対応するポケットから縦方向に間隔をおいて、分析的に表現可能な幾何学形状の加圧流体受容溝を設け、各溝から反対側に配置されたポケットに流体が前記表面の外部に供給され、溝からの流体流れに対する抵抗が、軸受が通常の平衡位置にあり、ギャップが外部力により負荷を受けない場合に、反対側の表面のポケットからの流体流れに対する抵抗の割合に等しくなるように調整され、それにより、外部力が加わると、加えられた負荷を補償するように対向するポケットに差圧が確立されて、流体流れが規制されて加えられた負荷により生じる軸受ギャップの変化に比例して負荷を自己補償することから成ることを特徴とする方法。

【請求項2】 各溝が実質的に円形環状形状に形成されて、加圧流体が、円形体内の表面ランドにわたり流れ、実施素敵に中央開口に流れ込み、軸受表面と対向するポケットに供給されることを特徴とする、請求項1に記載の方法。

【請求項3】 横方向に伸びる溝が、各面上のポケットと第1の溝の間において第1の溝の外部に漏れ流れを生じさせるように形成されることを特徴とする、請求項1に記載の方法。

【請求項4】 流体がさらにポケットの先端に供給されて軸受キャリッジが高速で運動した場合に空気が入り込むのを防止可能なことを特徴とする、請求項3に記載の方法。

【請求項5】 前記第1の溝と同様の別の加圧流体受容溝又は横方向に伸びる流体受容補助溝がかかる別の加圧流体を供給するべく第1の溝の反対側のポケット側の各軸受表面に形成されることを特徴とする、請求項4に記載の方法。

【請求項6】 一对の対向キャリッジ軸受面を備え、それに沿って及びその間に軸受レールを受容し、さらに、各軸受面がその面内に同様のポケットを備え、そのポケットから加圧流体がレールとキャリッジ面の間のギャップに流体の薄膜を生じるように発散される線形運動静水圧軸受であって、各軸受面上に、対応するポケットから縦方向に間隔をおいて、分析的に表現可能な幾何学形状の加圧流体受容溝を設けられることと；反対側に配置された軸受表面のポケットに前記表面の外部において前記各溝からの加圧流体を提供するための手段と、その場合に、溝からの流体流れに対する抵抗が、軸受が通常の平衡位置にあり、ギャップが外部力により負荷を受けない

2

場合に、反対側の表面のポケットからの流体流れに対する抵抗の割合に等しくなるように調整されことと；加圧流体を溝に供給するための手段と、それにより、外部力が加わると、加えられた負荷を補償するように対向するポケットに差圧が確立されて、流体流れが規制されて加えられた負荷により生じる軸受ギャップの変化に比例して負荷を自己補償することと；から成ることを特徴とする軸受。

【請求項7】 加圧流体受容溝が実施素敵に円形環状輪郭を有していることを特徴とする、請求項6に記載の軸受。

【請求項8】 環状ランド面が各円形環状溝によって囲まれ、それにわたり、かかる溝からの加圧流体が実施素敵に中央開口に流れ込み、反対側に配置された軸受面のポケットにさらに供給されることを特徴とする、請求項7に記載の軸受。

【請求項9】 加圧流体供給手段が円形環状溝内の開口に流体源から流体を供給することを特徴とする、請求項8に記載の軸受。

【請求項10】 さらに溝が対応するポケットと円形環状溝の間において各軸受表面を横切るように横方向に伸びるように形成されて円形環状溝の外部において前記表面に沿って流体漏れ流れを存在せしめることを特徴とする、請求項8に記載の軸受。

【請求項11】 円形環状溝から前記ポケットの反対側に、さらに別の横方向に伸びる溝が設けられていることを特徴とする、請求項10に記載の軸受。

【請求項12】 さらに円形環状溝が第1の円形環状溝から対応するポケットの反対側の軸受面に設けられていることを特徴とする、請求項10に記載の軸受。

【請求項13】 さらに別の流体供給溝が、円形環状溝から対応するポケットの反対側の軸受面に設けられており、別の流体をポケットの先端に供給して、軸受キャリッジが高速で運動する場合に空気がその内部に入り込まないようにしたことを特徴とする、請求項10に記載の軸受。

【請求項14】 前記軸受キャリッジが1つの平行運動度制限を行うのみの小さなモジュラーキャリッジであり、前記軸受がその運動及び支持を助けるためにテーブルにボルト締めされることを特徴とする、請求項6に記載の軸受。

【請求項15】 前記軸受キャリッジが2つの平行運動度制限を行うのみの小さなモジュラーキャリッジであり、前記軸受がその運動及び支持を助けるためにテーブルにボルト締めされることを特徴とする、請求項6に記載の軸受。

【請求項16】 テーブルが運動の所望の方向に沿って1自由度のみを有し、所望の方向に直交する2つの平行運動方向及び3つの全ての軸周りの回転運動に対して高い剛性で制限を与えるように、テーブルの運動を支持し案

3

内するべく接続された、請求項14に記載された2つのモジュラ静水圧軸受キャリッジ。

【請求項17】 レールと、及び、そのレールとの間のギャップを充填する流体の加圧軸受ポケットによりそのレールと接触しないように保持される軸受キャリッジとを備え、軸受ポケットに対する流体流れは、前記ポケットに対向するように配置された補償装置により規制されて、供給された負荷により生じた軸受の変位により前記ポケットの領域内で軸受ギャップが減少し、次いで、前記流体規制補償装置の範囲において軸受ギャップが増加するようにされて成る静水圧軸受において：前記補償装置が、前記ポケットに接続された中央凹部開口領域と、前記中央凹部開口領域を囲む上昇ランド領域と、前記ランド領域を囲む環状凹部溝圧力源領域とからなり、前記溝圧力源領域が前記流体圧力が前記溝圧力源から前記中央凹部開口領域にギャップと前記ランド領域の寸法と形状により規制されるように流体圧力源に接続され、前記溝圧力源領域が前記溝圧力源領域を囲む大きな上昇ランドにより流体の外部への漏れを防止するように構成されていることを特徴とする軸受。

【請求項18】 前記中央凹部開口領域、前記第1ランド領域及び前記溝圧力源領域が、領域間の流体抵抗を流体動力学の基本方程式を用いて高い精度で単純な定義方法で計算可能なような形状に構成されたことを特徴とする、請求項17に記載の軸受。

【請求項19】 前記中央凹部開口領域、前記ランド領域及び前記溝圧力源領域が全て円形であることを特徴とする、請求項18に記載の軸受。

【請求項20】 前記補償装置が前記軸受の各端部に配置されて、流体を軸受に対向する2つのポケットのうちの1つに供給し、それにより、前記軸受が高速で運動された場合に、前記補償装置からの漏れ流れが粘度シアによりポケットの先端端に引き込まれるようにして、前記ポケット内に空気が引き込まれないようにしたことを特徴とする、請求項17に記載の軸受。

【請求項21】 流体層分割軸受レールに沿って可動の1対の縦方向に伸び対向する線形キャリッジ軸受面を備えた静水圧軸受であって、前記面の両側に連続して、前記面の中間において縦方向に伸びるリセスポケットと、前記面を横切って横方向に伸びる溝と、中央開口が配置された実質的に円形の環状溝と、前記円形環状溝にさらに前記中央開口領域を貫通するように加圧流体を流すための手段とを備えたことを特徴とする軸受。

【請求項22】 1つの軸受面の中央開口領域から対向軸受面のリセスポケットに流体を流すための手段が設けられていることを特徴とする、請求項21に記載の軸受。

【請求項23】 各軸受面の縦方向に伸びるリセスポケットより前に、流体供給手段が高い軸受キャリッジ速度で空気の介入を防止するべく設けられていることを特徴とする、請求項21に記載の軸受。

4

【請求項24】 縦方向に伸びるリセスポケットが、相応の幅を有する横方向に伸びる溝及び円形環状溝に比較して大きな断面を有することを特徴とする、請求項21に記載の軸受。

【請求項25】 縦方向に伸びるリセスポケットの横方向幅が円形環状溝の外径に匹敵することを特徴とする、請求項21に記載の軸受。

【請求項26】 流体が気体及び液体の一方であることを特徴とする、請求項21に記載の軸受。

【請求項27】 前記流体が空気及び水の一方であることを特徴とする、請求項26に記載の軸受。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、水や空気を含む液体又は気体などの加圧流体の薄膜により指示される線形運動軸受に関する。なお、本明細書では、流体静力学軸受と静水圧軸受とを言い換え可能なものとして称することにする。

【0002】 さらに、詳細には、本発明は、軸受キャリッジの線形運動を案内する矩形断面を有する直線軸受レールを含むシステムに関する。軸受キャリッジは、軸受レールに対面する側の軸受キャリッジの表面のポケットから発散される流体の加圧薄膜の手段により、軸受レールから一定の距離が維持される。軸受キャリッジに力が加わるにつれて、力が加えられる側の軸受の空隙が減少し、反対側の軸受の空隙が増加する。軸受ポケットから流出流体に対する抵抗は、空隙の寸法の立方に反比例する。これは、相補対向ポケット軸受が相互に直列接続された2つの抵抗及び別の抵抗組と並列接続された抵抗のように作動することを意味する。従って、負荷が加えられると、負荷側の軸受ポケットから流出する流体の抵抗が増加し、反対側の抵抗は減少する。結果として、負荷及び2つのポケットの間に発生する差圧が平衡するまで、負荷が加えられる側のポケットにおいて圧力が増加する。従って、加えられた負荷に関して軸受が補償を行う。ポケットに流入する流体の抵抗は補償と称される。

【0003】

【従来の技術】 従来技術においては、3つのタイプの補償が提案されている。固定式補償は固定弁抵抗として作動する細管又はオリフィスを用いる。可変式補償はダイヤフラム及び弁を用いてポケット抵抗に反比例する流れを生じさせることにより、固定式補償装置の使用により形成される圧力差よりも大きな圧力差を生じる。しかしながら、これらの種類の補償は、軸受間隙に対して調整される必要がある。

【0004】 軸受の動作性能を向上させるために軸受間隙が小さくなればなるほど、製造時誤差により補償装置を手作業で調整する必要があるため、これらのタイプの補償のいずれをも用いることが困難になる。3つの軸を有する機械工具は36の軸受ポケットを備えることが可

5

能であるから、必要な労力はけた外れのものとなる。

【0005】3つの種類の補償は、軸受間隙の変化により軸受自身がポケットへの流体の流れを変化させるので、自己補償と称される。現行の自己補償方法は軸受表面上に線形通路を備えており、一次的にはスピンドルに適応される。これについては後に詳述する。しかしながら、これらの設計では、分析的に特定することが困難な非効率的な流量パターン、特に線形溝の終端付近の流れが生じ、結果的に、不適切な抵抗設計であり、そのため補償器を手で調整する必要が生じるため、商業部門で許容可能な動作性能を示していない。この困難は、従来の線形溝型自己補償装置においても、その幾何学形状が常に実際に実現できるとは限らないために、生じている。

【0006】本発明の根底にあるものは、軸受の反対側で軸受ポケットに接続されている装置の中心にある穴に流体を供給する加圧環状路の形式の自己補償装置の使用により、従来技術に基づくアプローチの限界を解消することである。しかしながら、環状路は製造が容易であり、線形通路よりも後続的に安定しており、さらに、環状路から中央に送られる流体流れは精度よく分析的に決定可能である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の目的は、従来技術の欠点を回避可能な新規かつ改良された自己補償式流体又は静水圧線形運動軸受及びその方法を提供することであり、さらに、加圧流体の対向するポケット静水圧軸受内への流れを規制するための新規な機構を含み、それにより、流体流れの変動が軸受ギャップに比例して、軸受自身の表面上で分析的に表現可能なシステムにより制御される。

【0008】本発明の別の目的は、流体抵抗が軸受の通常の平衡位置において軸受キャリッジ面上の幾何学パターンに関連し、機構の抵抗が通常の平衡ギャップの大きさにかかわらず軸受ポケットから流体抵抗に対して所望なように比例するような新規な軸受構造を提供し、それにより動作性能を特に手動により調整することが不要な製造が容易な静水圧軸受を獲得することにある。

【0009】本発明の別の目的は、機械工具製造者が、従来のモジュラー圧延要素軸受を使用してきたのと同様の容易さで、静水圧軸受を使用可能になるような廉価なモジュラー軸受設計を提供することである。

【0010】さらに、本発明の別の目的は、軸受が高速で移動する場合にも、軸受の全ての領域が十分な流体流れを受けることが保証されるような新規な軸受を提供することである。

【0011】これらの及びさらに別の目的については、以下の説明及び特許請求範囲の記載によりさらに詳細になる。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の1つの観点から

6

本発明を要約すれば、本発明は、対向するキャリッジ軸受面を有し、それに沿って及びその間に軸受レールを受容し、さらに、各軸受面がその面内に同様の対称的なポケットを備え、そのポケットから加圧流体がレールとキャリッジ面の間のギャップに流体の薄膜を生じるように発散される線形運動静水圧軸受における、軸受の両側の負荷の変化の自己補償のための方法であって、各軸受面上に、対応するポケットから縦方向に間隔を置いて、分析的に表現可能な幾何学形状の加圧流体受容溝を設け、各溝から反対側に配置されたポケットに流体が前記表面の外部に供給され、溝からの流体流れに対する抵抗が、軸受が通常の平衡位置にあり、ギャップが外部力により負荷を受けない場合に、反対側の表面のポケットからの流体流れに対する抵抗の割合に等しくなるように調整され、それにより、外部力が加わると、加えられた負荷を補償するように対向するポケットに差圧が確立されて、流体流れが規制されて加えられた負荷により生じる軸受ギャップの変化に比例して負荷を自己補償することを含んでいる。

【0013】好適な及び最良の設計については、以下に説明する。

【0014】

【実施例】添付図面は、正確な摩擦なし運動性能を提供するための加圧流体薄膜を用いた機械工具テーブルを指示するための機構又はシステムを含んでいる。最大の多様性を確保するために、テーブルのような構成要素がボルト締め可能なモジュラー軸受キャリッジを提供することが好ましい。正確な線形運動を得るために、5自由度が制限される必要がある。5自由度のうちの2つは平行運動であり、3つは回転運動である。回転運動に対する最大の抵抗を得るために、軸受は可能な限り隔離される必要がある。すなわち、一般的には、2つの長い直線構造部材、すなわち軸受レールが少なくとも3つの軸受キャリッジと共に設けられる必要があるが、4つ又はそれ以上のキャリッジがレールに沿って移動する運動に対する剛性を付加するためにさらに設けられる必要がある。

【0015】図1及び図2に示すように、本発明の軸受キャリッジ19は軸受レール17に沿って移動する。Y方向への軸受キャリッジの運動は、軸受レールの上方及び下方面に関しては、それぞれ、16A及び16Bに関して、縦方向に伸びる軸受面14A及び14Bにより案内される。さらに図2に詳細に示されているように、軸受表面14A及び14Bは小さな対向して縦方向に伸びるポケット領域10A及び10Bをそれぞれ含み、そこには、後述のような中間アーチャ9A及び9Bからの高圧の加圧流体が充填される。ポケット10A及び10Bへの流体流れは、それぞれの小さな対向する自己補償装置1A及び1Bにより規制され、この自己補償装置は環状溝5A及び5Bを含み、それとポケット10A及び10Bの間には、横方向に伸びる溝又はリセス15A及

7

び15Bが設けられ、それによりZ軸方向での補償装置1A及び1Bからの漏れ流体が短絡せずにそれぞれの軸受面14A及び14Bに向かうことが可能になる。ポケット10A及び10B、横方向リセス又は溝15A及び15B及び環状溝5A及び5Bは、こうして連続して縦方向に軸受面14A及び14Bに沿って配置される。軸受レール17に関する軸受キャリッジ19のY位置は軸受キャリッジ、軸受ギャップ12A及び12B、軸受装置及び自己補償装置の相対的流体抵抗に対して加えられるY方向負荷に依存している。

【0016】図3は、図1及び図2のシステムの平行流体流れ抵抗を示している。一定の圧力源20からの流体は供給ホース21を介して軸受キャリッジに入る。流れはT分路において分割されて、それぞれ管路2A及び2Bを介して自己補償装置1A及び1Bに方向付けられる。流体は供給圧力でそれぞれの環状溝5A及び5B内\*

$$R_{4A} = \frac{6\mu \text{Log}_e \left( \frac{D_4}{D_3} \right)}{\pi h_{12A}};$$

(1)

【0018】

※ ※【数2】

$$R_{4B} = \frac{6\mu \text{Log}_e \left( \frac{D_4}{D_3} \right)}{\pi h_{12B}}$$

(2)

【0019】環状体5A及び5B内の流体は常に低い圧力領域に流れようとし、従って、流れはそれぞれの環状補償ランド6A及び6Bを横切って生じる。これらのラ

★自己補償装置1A及び1B、並びに、 $h_{12A}$ 及び $h_{12B}$ と前述された軸受ギャップ12A及び12Bにおいて同じである。

【0020】

【数3】

$$R_{6A} = \frac{6\mu \text{Log}_e \left( \frac{D_2}{D_1} \right)}{\pi h_{12A}};$$

(3)

【0021】

☆ ☆【数4】

$$R_{6B} = \frac{6\mu \text{Log}_e \left( \frac{D_2}{D_1} \right)}{\pi h_{12B}}$$

(4)

【0022】図2及び図3に示すように、補償ランド6A及び6Bを交差した後、流体はそれぞれの中央穴7A及び7Bに入り、それから軸受キャリッジ内の通路8A及び8Bを流れる。軸受ギャップは、典型的には0.01ミリメートルのオーダーであり、通路は少なくとも直径数ミリメートルであり、通路抵抗は補償ランドの抵抗に比較してそう大きなものではない。通路は自己補償装

置1A及び1Bから反対側の軸受面14B及び14Aにそれぞれ向かう。それから、流体は自己補償装置として軸受キャリッジ19の反対側の軸受表面に供給される。通路8A及び8Bからの流体は内部からの抵抗なしに軸受表面14B及び14Aに、好ましくは中央穴9B及び9Aに入り込む。流体は軸受ポケット10B及び10Aを加圧された状態に保持して、それから、流体は各ラン

11B及び11Aをわたり軸受表面から流れる。

【0023】軸受表面からの流体流れの抵抗は、軸受の幅及び長さ、ポケットの幅及び長さ、軸受ギャップ及び流体粘度に依存している。当業者であれば等しくない寸法の軸受の計算でもなすことが可能であるが、仮に軸受表面が同じ寸法をもっているものと仮定して、軸受表面\*

\*幅をa、軸受長さをb、ランド幅をl、軸受ポケットコーナーの半径を $r_p$ とすると、軸受表面14A及び14Bからの流体流れに対する抵抗 $R_{11A}$ 及び $R_{11B}$ は次式のようになる。

【0024】

【数5】

$$R_{11A} = \frac{6\mu}{h_{12A}^3 \left[ \frac{\pi}{\text{Log}_e \left( \frac{r_p + \ell}{r_p} \right)} + \frac{a+b-4(\ell+r_p)}{\ell} \right]}, \text{ and} \quad (5)$$

【0025】

※ ※ 【数6】

$$R_{11B} = \frac{6\mu}{h_{12B}^3 \left[ \frac{\pi}{\text{Log}_e \left( \frac{r_p + \ell}{r_p} \right)} + \frac{a+b-4(\ell+r_p)}{\ell} \right]} \quad (6)$$

【0026】図3に示すような等価回路では、供給圧力 20★【0027】

PSとすると、軸受表面ポケット10A及び10B内の 【数7】

それぞれの圧力 $P_{10A}$ 及び $P_{10B}$ は、次式のようになる。★

$$P_{10A} = \frac{P_S R_{11A}}{R_{6B} + R_{11A}} \text{ and} \quad (7)$$

【0028】

☆ ☆ 【数8】

$$P_{10B} = \frac{P_S R_{11B}}{R_{6A} + R_{11B}} \quad (8)$$

【0029】軸受圧力の差から生じた軸受キャリッジ上 30◆Aは軸受設計の当業者によって次式により示される。

の正味力は、軸受表面の有効面積に依存している。自己 【0030】

補償装置によるこの面積の貢献は無視できる点に留意さ 【数9】

れたい。矩形ポケットの軸受表面に関しては、有効面積◆

$$A_{\text{effective}} = (a - 2\ell)(b - 2\ell) + r_p^2(\pi - 4) + \ell[a + b - 4(\ell + r_p)] \\ + \pi \left[ \frac{\ell(2r_p + \ell)}{2\text{Log}_e \left( \frac{r_p + \ell}{r_p} \right)} - r_p^2 \right] \quad (9)$$

【0031】軸受により支持可能な力Fは、従って、次 40\* 【0032】  
式により示される。 \* 【数10】

$$F = A_{\text{effective}}(P_{10A} - P_{10B}). \quad (10)$$

【0033】軸受の動作性能を最大にするために、上述の式を組み合わせ、軸受変位及び自己補償装置及び軸受表面の相対的流体抵抗の関数として負荷容量を示す必要がある。

【0034】軸受キャリッジに負荷がかかっていない場合には、値 $h_{12A}$ 及び $h_{12B}$ は名目ギャップ $h$ に等しくなる。負荷が加わっている軸受キャリッジのY方向への変

位は $\delta$ である。各流体抵抗は軸受ギャップの3乗の逆数に乗じた同じ比例因数を有していることに留意されたい。軸受抵抗因数に対する補償装置抵抗因数の割合が $\gamma$ である場合には、上述の式の組み合わせにより、次式のような、負荷容量Fに関する式を導くことが可能である。

【0035】

【数11】



$$F = A_{\text{effective}} P_s \left( \frac{\frac{1}{(h-\delta)^3}}{\frac{\gamma}{(h+\delta)^3} + \frac{1}{(h-\delta)^3}} - \frac{\frac{1}{(h+\delta)^3}}{\frac{\gamma}{(h-\delta)^3} + \frac{1}{(h+\delta)^3}} \right) \quad (11)$$

【0036】変位 $\delta$ に関する負荷容量の微分により軸受  
の剛性 $K$ に関する表現を次式のように得ることが可能で  
ある。

$$K = A_{\text{effective}} P_s \left\{ \frac{-3}{\left( \frac{\gamma}{h^3} + (h-\delta)^{-3} \right)^2 (h-\delta)^7} + \frac{3}{\left( \frac{\gamma}{h^3} + (h-\delta)^{-3} \right) (h-\delta)^4} \right. \\ \left. - \frac{3}{\left( \frac{\gamma}{h^3} + (h+\delta)^{-3} \right)^2 (h+\delta)^7} + \frac{3}{\left( \frac{\gamma}{h^3} + (h+\delta)^{-3} \right) (h+\delta)^4} \right\} \quad (12)$$

【0038】図6及び図7は、それぞれ、補償装置及び  
軸受の相対抵抗及び軸受変位の関数としての供給圧力及  
び装置有効面積当たりの剛性及び負荷容量を示してい  
る。軸受からの流体流れの総抵抗は図3に示すように抵  
抗およびその総和になる。

【0039】例えば、従来の固定抵抗毛細管補償型軸受  
の動作性能に関して、本発明の設計に関する上述の式を  
実行させてみた例を次に示す。

【0040】

【表1】

(8)

特開平6-213235

13	14
供給圧力 $P_s$ (N/m <sup>2</sup> , psi, atm)	2,028,600 294 20
粘度 $\mu$ (N-s/m <sup>2</sup> ) (water)	0.001
名目軸受ギャップ $h$ (m, in)	0.000010 0.000394
幅 $b$ (m, in)	0.0400 1.57
長さ $a$ (m, in)	0.0500 1.97
ランド幅 $l$ (m, in)	0.0100
ポケット半径 $r$ (m, in)	0.0050
軸受ランドの流体抵抗	3.91E+10
パッド当たりの有効面積 (cm <sup>2</sup> , in <sup>2</sup> )	21.72 3.37
キャリッジを支持する6つのパッド対の結果:	

自己補償型:

毛細管型:

$R_{\text{self-compensating}}/R_{\text{capillary}}$	3	1
50%ギャップ閉止の負荷容量 (N, lb)	23,470 5,274	17,456 3,923
初期剛性 (N/ $\mu\text{m}$ , lb/ $\mu\text{in}$ )	5,948 33.98	3,966 22.66
25%ギャップ閉止の剛性 (N/ $\mu\text{m}$ , lb/ $\mu\text{in}$ )	5,096 29.12	3,628 20.72
50%ギャップ閉止の剛性 (N/ $\mu\text{m}$ , lb/ $\mu\text{in}$ )	2,158 12.34	2,498 14.28
流れ (1/分)	1.5	1.2
ポンプ力 (Watts)	51	40
D 2 (m)	0.0164	
D 1 (m)	0.0100	
補償ランド幅 (mm)	3.18	
D 4 (m)	0.0400	
D 3 (m)	0.0264	
漏れ抵抗	9.96E+10	

 $R_{\text{self-compensating}}/R_{\text{capillary}}$ 

0.85

【0041】これらの結果は、本発明が特許請求する設計により、軸受の性能に関する正確な分析的表現に基づくスプレッドシートプログラムを用いて公式化が可能なので容易であることが示される。従来の固定抵抗毛細管型補償軸受と比較されたかかる軸受の動作性能の結果は、自己補償型軸受の優れた負荷容量と剛性性能を示している。

【0042】図に示すように、この実施に関して、ポケット10A及び10Bは、環状体である環状溝5A及び5Bの外径に比較できる幅、さらにはポケットの幅とそれよりも長い縦方向長さと比較して小さな横方向リセス

40 15A (15B) の幅と比較できる幅を有する、実質的な矩形である。

【0043】図5に示すように、前述した如く、線形運動機械工具テーブル28を適切に支持するために、マスター軸受レール22を用いて、Y及びZ方向への制限を達成し、二次的軸受レール17を用いてY方向への制限を達成可能である。2つの軸受レールは機械ベース29に固定される。マスターレール上には、図4に示すように軸受キャリッジ23及び識別装置31が配置される。

これらのキャリッジは対向する自己補償軸受の直交する50 セットを備え、各キャリッジはY及びZ方向への力に抵

抗可能である。軸受26A及び26Bは、図1及び図2の軸受キャリッジの軸受14A及び14Bと同様に對で作動する。負荷がY方向に加えられると、軸受ギャップ24A及び24Bが変化して、前述のように、圧力差を生じさせて、それにより供給された負荷が補償される。同様に、軸受27A及び27Bは、ギャップ寸法25A及び25Bの変化により確立された圧力差によりZ方向に加えられた負荷を支持する。流体はポンプ20からの管路21を介して軸受キャリッジに加えられる。

【0044】前述のように、キャリッジ19及び同一のキャリッジ23は二次軸受レール上にある。これらの軸受キャリッジの双方ともY方向のみの負荷を支持する。ギャップ18は通常の軸受ギャップhよりオーダーの大きな寸法を有していることに留意されたい。これにより、1自由度制限軸受がZ方向への運動に抵抗しないことが保証される。従って、2つの軸受レールのy軸周りの相対的角度位置は環状ではなく、それにより製造費用を減じることが可能になる。

【0045】レール17はレール22から距離をおいて配置されるので、X軸周りの運動に対する抵抗も提供されることになる。同様に、キャリッジ19、23及び30、31のセットの間にはX方向間隔があるので、Z軸周りの運動に対する抵抗が得られる。キャリッジ23と31の間のX方向間隔により、Y軸周りの動きに対する抵抗が得られ、軸受キャリッジ19、30及び23、31のZ方向間隔によりX軸周りの運動に対する抵抗が得られる。

【0046】このようにして、本発明の目的は、一般的に、その運動が線形経路に沿って案内されるテーブル表面を支持する1又はそれ以上の軸受キャリッジ19の運動を案内する1又は2の矩形断面直線軸受レール17の手段により円滑で正確な線形運動を提供する機構により、達成される。軸受キャリッジ19は、軸受レールに面するキャリッジの選択面内の対向するリセスポケット10A及び10Bのセットから流れる加圧流体の薄膜により軸受レール17との機械的接触から保持される。ポケットへの流体の流れが規制されて、差圧がポケットの間に確立され、それによりキャリッジ加えられる負荷の変化が補償される。この流体流れの規制は、環状リセス溝(5A、5B)内に加圧流体を提供することにより得られ、リセス溝から流体が環状体の中央の供給穴(7A、7B)に流れ込み、供給穴は内部又は外部の通路(8A、8B)の手段により供給穴開口(10A、10A)から別の軸受キャリッジ面に配置された軸受ポケットに接続されている。

【0047】環状体溝から供給穴への流体流れに対する抵抗は、軸受が外部からの負荷を受けていない通常の平衡位置にある場合に、軸受ポケットからの流体流れに対する抵抗の割合と等しくなるように設計される。外部負荷が供給されると、負荷の側にある軸受ポケットに流体

を供給する調整装置の流体抵抗は、供給された負荷の反対側の軸受ポケットからの流体流れに対する抵抗に生じる増加に比例するように急速に減少する。これとは逆に、供給された負荷の反対側の軸受ポケットに流体を供給する調整装置は、負荷の側にある軸受ポケットからの流体流れに対する抵抗に生じる増加と同じ割合で減少する抵抗を有している。結果として、負荷の側の軸受ポケットの圧力が急速に上昇し、加えられた負荷の反対側の軸受ポケットの圧力が急速に下降する。従って、差圧が急速に確立されて、加えられた圧力に対する補償として作用する。規制装置の作動は、軸受自身の幾何学形状及び軸受自身の運動に基づいており、従って、この設計が自己補償型と称されてきた。

【0048】この点において、従来技術と本発明との相違は明白である。図8はスタンフィールドにより開示された従来の自己補償型流体流れ制限装置である(F. M. スタンフィールド「Hydrostatic Bearings for Machine Tools and Similar Applications」、第127頁～第131頁)。図9はこの種の軸受に関する平衡抵抗の概略を示している。流体は、圧力源に接続された穴35を介して補償装置に入り込む。流体は補償ランド36を横切って流れ、矩形の環状体37に入り込む。流体は、對で、自己補償装置の反対側に位置する軸受に設けられた通路38に入り込む。軸受の抵抗は抵抗器40として示されている。流体が矩形環状体37から漏れてランド39を介して直接接地可能なような、大きな流れが存在することに留意する必要がある。これは短絡回路の接地のように作用するので軸受の動作性能を大きく低下させる。しかしながら、この設計は、抵抗器から接地へ流れる漏れが実際には回転スピンドルにより調整ポケット内に汲み上げられるのでスピンドル用に用いることが可能である。スタンフィールド自身この技法を「軸受を軸支する場合にのみ応用可能である」と考えている。もし、この設計が本発明の目的に関して対向パッド型線形運動軸受に対して試みられた場合には、剛性が低くなり、漏れも大きいものとなるであろう。

【0049】図10は、別の従来例であるドイツの製造業者であるゾーレルン社(Zollern Inc.)で用いられている自己補償型流体流れ規制装置を示している。この装置は実際には、対向自己補償装置が流体を供給する軸受内に配置される。図11は、この種の軸受の等価の抵抗を示している。圧力源からの流体は溝41に入り込み、ランド42及び43を横切って補償収集溝44及び45に入り込む。溝44及び45は、対向する軸受パッドに流体を送る共通通路に接続される。相互に対向する補償装置からの流体は、穴48を介して、矩形の環状ポケット47に流れ込む。流体は、次いで、軸受からランド49を横切って流れる。補償収集溝44及び45からの流体はランド46を横切って矩形環状体47に漏れる可能性があることに留意する必要がある。この結果、動作性

能が低下することになる。さらに、軸受面積の大きな部分を補償器により分割するという事実がさらに、軸受の動作性能を低下させる。

【0050】図12は、1948年にホッファー (Hoffer) に特許が付与された (米国特許第2449297号) さらに別の自己補償型流体流れ規制装置を示している。溝50及び51が圧力源に接続される。流体はランド53及び54を横切って補償収集溝52内に入り込む。圧力供給溝からの流れがランド55にわたる生じる。しかしながら、流れは、ランド56及び57を横切る補償器収集溝53から生じる。圧力供給溝が収集溝よりも長くなく、ランド56及び57が短い場合には、図8に示した設計の場合のように短絡抵抗が接地される。圧力供給溝が収集溝52よりも長く、及び/又はランド56が長い場合には、正味効果として、図14に図示の流れフィールドに示すように、収集溝の端部に流体の流れが生じることになる。システムの幾何学形状を、収集器の端部から正味流れが生じないように、調整することは理論的には可能であるが、しかし、これにはかなりの数の要素成形及び試験が必要となる。こうして、顧客の特別のニーズのために新しい軸受を設計するには費用がかかる。この設計においてしばしば生じる結果として、流体が補償器収集溝52内に流れ込む。さらに、端部領域が汚れや粘度効果に曝されて、軸受の動作の部分として有害に作用する。実際には、図14に示すように、軸受が動く場合に補償収集溝の端部に汚れを汲み上げる正味環状流れが存在することになる。

【0051】上述の及びその他の従来技術に比較して、本発明により開示された新規な環状自己補償装置は、これに対して、かかる装置設計及び軸受の性能の予測を示す正確な式により、十分に表現が可能なるものである。軸受が予測通り正確に動作しているかの試験により、この軸受は顧客の変更ニーズに対して迅速かつ最小の費用で製造することが可能であるため、本発明に基づく成功したモジュラー軸受設計の本質の1つであることが示される。

【0052】従来技術のように流れフィールドが補償及び供給溝の端部においてどうであるかを推測するのではなく、本発明は流れフィールドがどのようなものであるかを問題なく保証する。本発明のように流れフィールド十分に定義するためには、十分に分析的である必要がある。全ての軸周りの平面的対称性は円形を意味し、そのため図1、図2及び図15に示す環状自己保証装置が開発される。この設計は、単純であり定義可能であるという特徴のため、洗練されておりかつ新規なものである。さらに、円形の環状体 (6A、6B) は構造的に従来の線形要素よりも優れており、ランド (4A、4B)

を横切る圧力環状溝 (5A、5B) からの均一な環状流れが自己保証装置に汚れが入り込むのを防止する。従って、ここに開示された新規な設計は定義付けが可能である構造的に優れているばかりでなく、自己清浄も可能である。

【0053】これらの利点が、本発明の静水圧軸受が機械工具設計の現状を進展させるための本質となる。図16の費用曲線に示されるように、静水圧軸受は回転要素軸受よりも高価なものであるが、静水圧軸受は実質的により大きな動作性能を示す。特に、静水圧軸受は面仕上げの影響を受けにくい。また、静止摩擦がゼロである。また摩擦率もゼロであり、大きな負荷能力及び剛性を有している。またダンパ性能に優れ、回転要素軸受が軸受レールの表面に凹凸をつけるような過負荷に対する免疫性も有している。

【0054】しかしながら、後述のように、静水圧軸受は、通常使用されるオイルが汚れており燃焼性があるので、広く使用されることはなかった。補償装置は汚れにより詰まったり損傷する傾向があり、また軸受ランドの抵抗に補償装置の流体抵抗を調整することは困難でありかつ高価についた。また軸受内の流体の粘性シヤーにより熱が発生する。

【0055】これに対して、本発明の新規な設計は、定義付けが可能であり、技術者が、これらの問題を回避すべく、軸受ギャップ及び流体を選択することを可能にする。従って、図16の静水圧曲線を下方にシフトさせることを助けて、本発明の静水圧軸受は、用途の重なり領域において、回転要素軸受のとともに強い競争相手になる。特に、既に示したようにギャップを非常に小さくすることが可能なので、静水圧流体として水を用いることが可能である。水は高い熱容量と優れた熱伝導性を備えている。結果として、軸受により発生された熱は、迅速に循環するので、回転要素が発生するものよりも高くはない。さらに、水は実際には予冷却可能であり、それにより軸受を、以前に用いられていた油静水圧軸受と同様に、等温とすることが可能であり、水の使用はこの実行をより容易なものにする。

【0056】軸受設計が直面するさらに別の問題は速度である。しかしながら、図16に示すように、速度は困難の係数を増加させる。従来の静水圧軸受では、流れはランドを横切り出るように強制されるが、軸受が移動するにつれて、流体の一方の側が、軸受とレールの間の相対的な剪断運動により戻される。実施には、最大速度  $V_{max}$  が流入する流れと流出する流れが等しい場合に生じる。

【0057】

【数13】

$$V_{max} = \frac{P_s h^2}{6\ell\mu}$$

(13)

19

【0058】例えば水が静水圧流体として用いられた場合であっても、軸受ギャップが減少して、流れ率及び汲み上げ力要求を減少させるにつれて、速度はすぐに低い値になってしまう。

【0059】図1及び図2に示す、本発明の自己補償装置は、軸受運動の1つの方向に対して軸受内に汲み上げられ、それにより軸受内に空気が入り込むの防止する、漏れ流れを提供する。速度があると、漏れランド4A及び4Bからの漏れ流れが、それぞれ、チャネル15A及び15Bを横切るように生じ、軸受ランド11A及び11Bに抗するように、それぞれ、流れることになる。汲み上げ動作は低圧の場合にのみ生じ、従って、軸受の動作性能には影響を与えない。式13による速度が超過されると、流体は空気の代わりに軸受内に引き込まれる。空気が軸受内に引き込まれた場合には、剛性が非常に損なわれ、軸受は摩耗する。軸受に空気が入り込まないようにする現在の方法は、大きなギャップと高圧を用いている。しかしながら、これでは、大きな流れを発生するために必要な汲み上げ量により過剰な熱が生じてしまう。

【0060】図17に示すように、供給穴60を介して補償装置に加圧流体が入り込むように軸受を構成することが可能である。それは、環状体61を充填し、補償ランド62を横切って、供給穴60に入り込む。図1及び図2の実施例に示すように、環状体61からの漏れ流れがランド64にわたって生じ、それは、通常は溝65を介して出現する。軸受がX方向に移動する場合には、いくつかの漏れ流れが軸受レールの表面に粘着し、それが表面64にわたり生じ、軸受ランド66上に当たることにある。式13による速度が超過されると、しかしながら、この当たった流体が空気の代わりに軸受ポケット67に引き込まれる。負のX方向への運動に関して、60及び61のような第2の補償装置が、軸受の他方端（図示せず）で用いられるか、またオリフィス71により供給される補助溝70が用いられる。ランド69を横切る溝70からの流れはその少量が軸受負荷容量及び剛性に負担するが、その大部分は高速運動の先導軸受ランドに対する流れ源を提供することになる。

【0061】本発明の設計の自己補償型静水圧軸受の頑丈さ及び定義付け特徴のために、この軸受は、図1、図4及び図5に示すようなモジュラー形式で用いるのに特に適している。さらに、所望の場合には、空気その他のガスを含む加圧流体を用いることも可能である。さらに、別の実施例が当業者により想到可能であるが、それらは全て特許請求の範囲で定義される本発明の精神及び範囲内に含まれるものである。

【0062】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、従来技術の欠点を回避可能な新規かつ改良された自己補償式流体又は静水圧線形運動軸受及びその方法が提供され、そ

20

れによれば、加圧流体の対向するポケット静水圧軸受内への流れを規制するための新規な機構が提供されて、それにより、流体流れの変動が軸受ギャップに比例して、軸受自身の表面上で分析的に表現可能なシステムにより制御される。

【0063】さらに、本発明によれば、流体抵抗が軸受の通常の平衡位置において軸受キャリッジ面上の幾何学パターンに関連し、機構の抵抗が通常の平衡ギャップの大きさにかかわらず軸受ポケットから流体抵抗に対して所望のように比例するような新規な軸受構造が提供され、それにより動作性能を特に手動により調整することが不要な製造が容易な静水圧軸受が得られる。

【0064】さらに、本発明によれば、機械工具製造者が、従来のモジュラー圧延要素軸受を使用してきたのと同様の容易さで、静水圧軸受を使用可能になるような廉価なモジュラー軸受設計を行うことが可能である。

【0065】さらに、本発明によれば、軸受が高速で移動する場合にも、軸受の全ての領域が十分な流体流れを受けることが保証されるような新規な軸受を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】X方向に移動可能であり、Y方向には静水圧軸受構成要素及び軸受レールにより案内された1自由度制限軸受を示す、本発明に基づいて構成された軸受の拡大分解図である。

【図2】自己補償流体流れ規制装置、軸受ポケット及びランド、及び軸受を流れる流体流れの様子を示した、図1のシステムの動作の概略図である。

【図3】図1及び図2に示された軸受の流体抵抗の概略図である。

【図4】X方向に移動可能であり、Y及びZ方向には静水圧軸受構成要素及び軸受レールにより案内された2自由度制限軸受の概略図である。

【図5】X方向への移動は自由であるが、Y及びZ方向に沿った移動及びX、Y及びZ軸回りの移動は、図1に示されたような2つの1自由度制限軸受キャリッジ及び図4に示されたような一対の2自由度制限軸受キャリッジの組合わせ動作により制限された機械工具テーブルの頂部及び端面図である。

【図6】流体が軸受ポケットから周囲に流れるような軸受ランドと自己補償装置の相対的流体抵抗の変化の効果を示す、図1及び図2に示された1自由度制限軸受の負荷容量対変位の関係を示すグラフである。

【図7】流体が軸受ポケットから周囲に流れるような軸受ランドと自己補償装置の相対的流体抵抗の変化の効果を示す、図1及び図2に示された1自由度制限軸受の剛性対変位の関係を示すグラフである。

【図8】自己補償型流体流れ制限装置の従来例である。

【図9】図8に示す自己補償型流体流れ制限装置内の流体抵抗の概略図である。

21

【図10】自己補償型流体流れ制限装置の別の従来例である。

【図11】図10に示す自己補償型流体流れ制限装置内の流体抵抗の概略図である。

【図12】自己補償型流体流れ制限装置のさらに別の従来例である。

【図13】図12に示す自己補償型流体流れ制限装置内の流体抵抗の概略図である。

【図14】図12及び図13に示す自己補償型流体流れ制限装置内の流体流れの概略図である。

【図15】本発明の自己補償型流体流れ制限装置内の流体流れの概略図である。

【図16】費用の観点から、現在流通している軸受技法の相対的利点を示すグラフである。

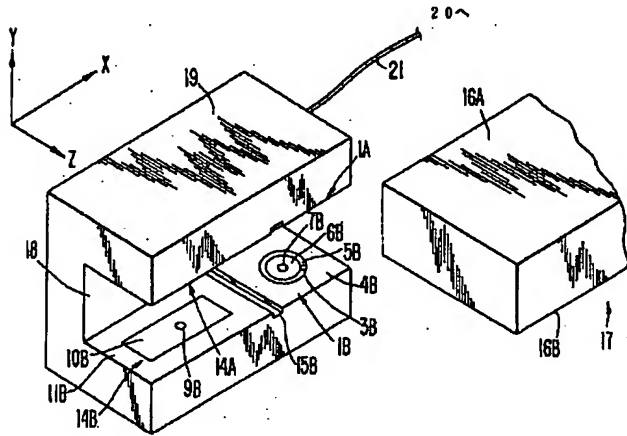
22

【図17】高速運動に特に適するように設計された、図1の自己補償型流体流れ制限装置を用いた軸受面設計を示す、本発明の好適な実施例の概略図である。

【符号の説明】

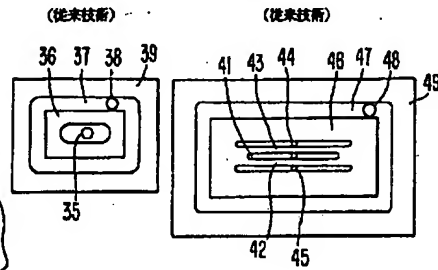
- 1 自己補償装置
- 5 環状溝
- 9 中間アーチャー
- 10 ポケット領域
- 12 軸受ギャップ
- 14 軸受面
- 15 リセス
- 17 軸受レール
- 19 軸受キャリッジ

【図1】

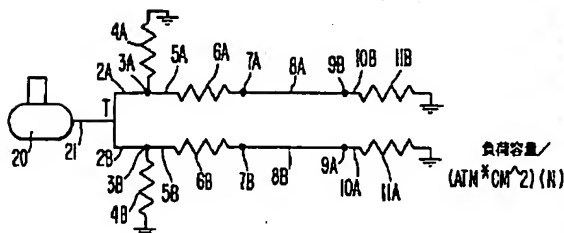


【図8】

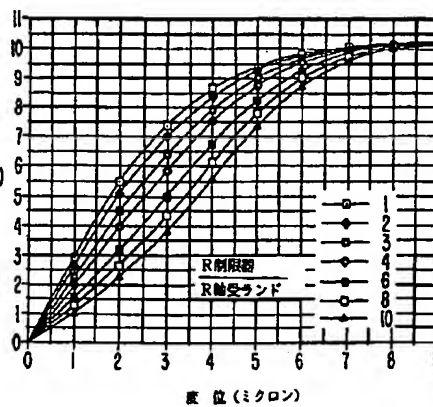
【図10】



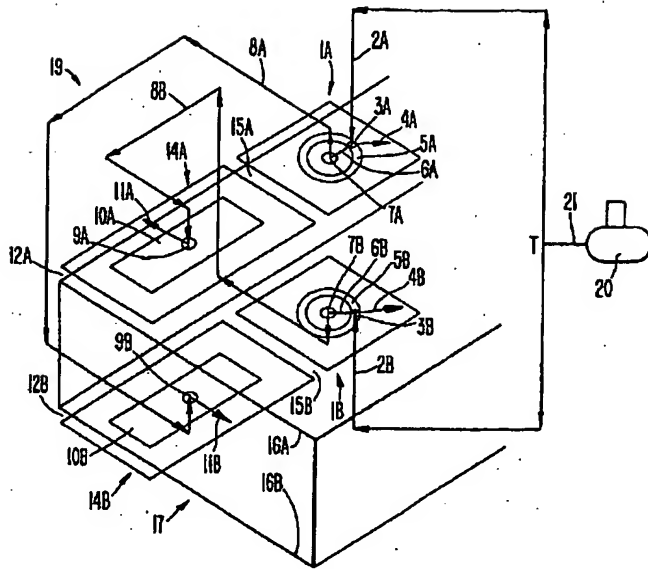
【図3】



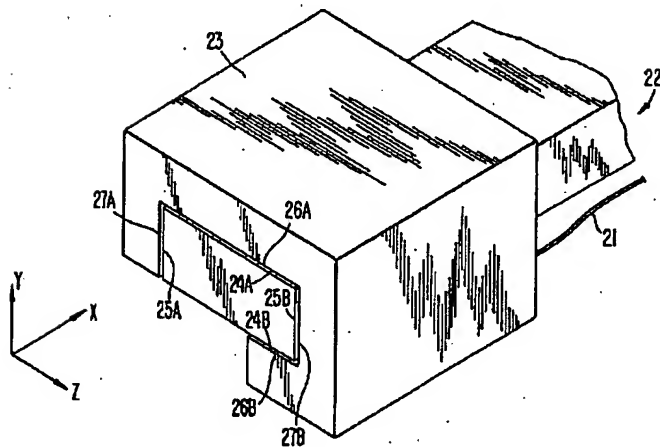
【図6】



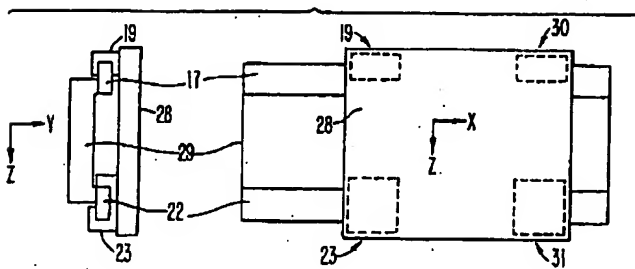
【図2】



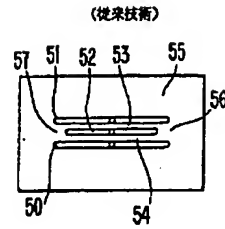
【図4】



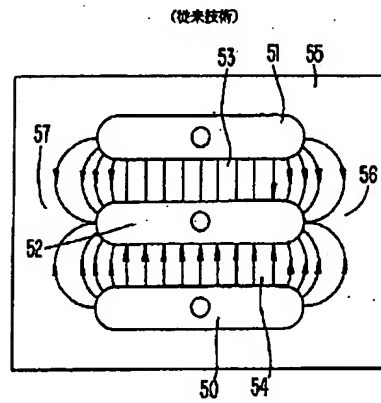
【図5】



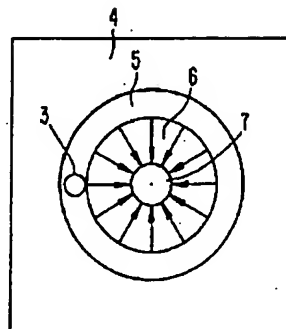
【図12】



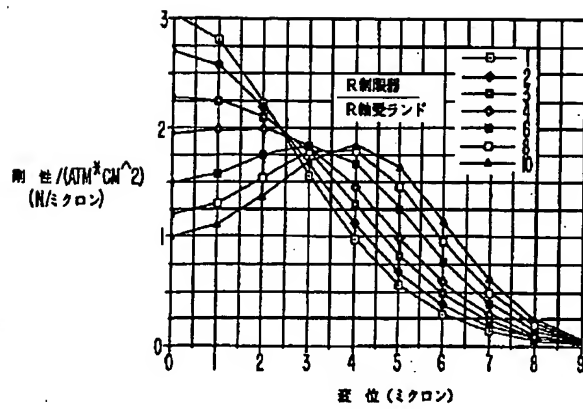
【図14】



【図15】

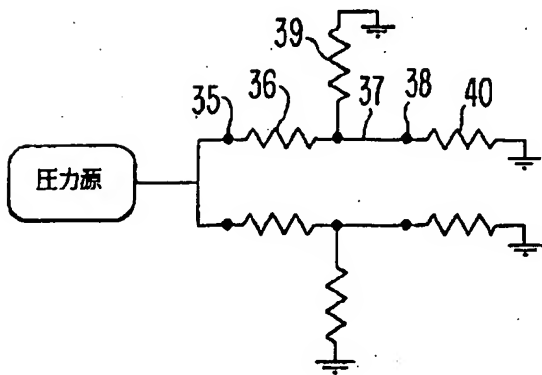


【図7】



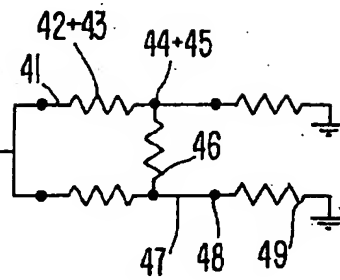
【図9】

(従来技術)



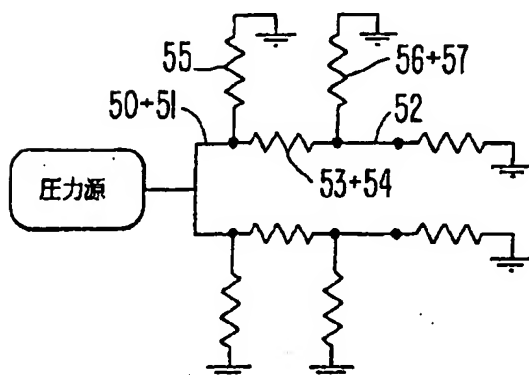
【図11】

(従来技術)



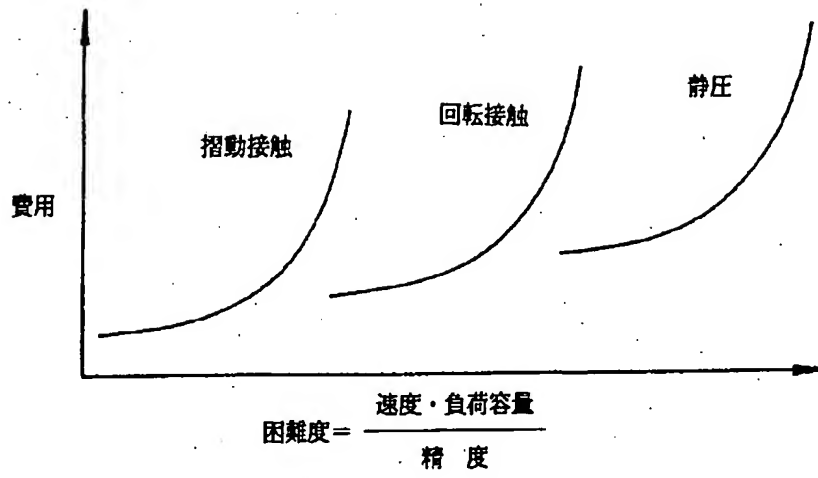
【図13】

(従来技術)





【図16】



【図17】

